

**Der Einfluß der Form  
der Gußkanäle auf die Verteilung von Porositäten  
in zahnärztlichen Gußobjekten**

von  
**Fritz Jörg Bartels**  
aus  
**Berlin**

**1969 № 388**







Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41546303\\_0077](https://archive.org/details/IA41546303_0077)

Aus der Prothetischen Abteilung  
(Vorstand: Prof. Dr. Dr. H. Paschke)  
der Klinik und Poliklinik  
für Zahn-, Mund- und Kieferkranke  
der Universität Erlangen-Nürnberg  
(Direktor: Prof. Dr. Dr. G. Steinhardt)

---

# **Der Einfluß der Form der Gußkanäle auf die Verteilung von Porositäten in zahnärztlichen Gußobjekten**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde  
der Hohen Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

**Fritz Jörg Bartels**

aus

**Berlin**

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät der Universität  
Erlangen - Nürnberg



Dekan: Professor Dr. A. Kröncke

Referent: Priv.-Doz. Dr. L. Kobes

Korreferent: Professor Dr. Dr. H. Paschke

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Juli 1969

Meinen lieben Eltern

in Dankbarkeit

gewidmet

Mein Dank gilt an dieser Stelle Herrn Priv. -Doz. Dr. L. K o b e s, der mir das Thema der Arbeit zur Verfügung stellte. Sein Rat und seine Unterstützung haben die Durchführung der Untersuchungen in hohem Maße gefördert.

Zu Dank verpflichtet bin ich ferner dem Vorstand des Mineralogischen Institutes der Universität Erlangen-Nürnberg, Herrn Prof. Dr. Th. E r n s t, für die Überlassung der bei den Untersuchungen unentbehrlichen Planschleifmaschine.

Nicht zuletzt möchte ich der Nürnberger Filiale der Firma DEGUSSA danken, die mir die für einen Teil der Versuche benötigte Edelmetalllegierung kostenlos zur Verfügung stellte.

## I N H A L T

- A Einleitung und Problemstellung
- B Theorien über die Entstehung der verschiedenen  
Strukturdefekte und ihre Vermeidung
- C Das Verhalten der Strömung beim zahnärztlichen Guß
- D Eigene Untersuchungen
  - 1) Gestaltung des Prüfkörpers
  - 2) Gestaltung der verschiedenen zu vergleichenden  
Gußkanäle
  - 3) Beschreibung des Gußverfahrens
  - 4) Herstellung der Metallschliffe
  - 5) Auswertung
- E Ergebnisse
- F Diskussion
- G Zusammenfassung
- H Schrifttum



## A Einleitung und Problemstellung

Beim zahnärztlichen Gußverfahren stellt sich die Aufgabe, sehr kleine Objekte aus Edelmetalllegierungen nach einem vorher aus einem Spezialwachs ( Gußwachs ) geformten Modell zu gießen. Dabei müssen sehr hohe Ansprüche an die Genauigkeit in der Wiedergabe der Wachsmodelle gestellt werden. Das bedeutet, daß exakte Maßhaltigkeit und vollständiges Ausfüllen der Gußform in allen Einzelheiten unabdingbare Notwendigkeiten sind. Neben der Modelltreue der Gußobjekte ist auch deren Struktur von Interesse: Je dichter ein Metallguß ist, desto weniger anfällig ist er gegen Korrosionserscheinungen und desto besser sind seine mechanischen Eigenschaften.

Das Ausgießen der kleinen und oft kompliziert geformten Hohlformen läßt sich nur dann zufriedenstellend durchführen, wenn die Metallschmelze unter Druck und mit genügender Geschwindigkeit in die Form gebracht wird. Die relativ geringe Metallmenge (zwischen 2 und 80 g) wird sonst zu zähflüssig, ehe sie die Form unter Überwindung des Gegendruckes der in ihr enthaltenen Gase vollständig ausgefüllt hat.

Um den erforderlichen Druck zu erhalten, werden gegenwärtig weiterhin Schleudergußapparate verwendet. Auch Gußapparate sind in Gebrauch, die mit Hilfe von Dampf- oder Luftdruck die Schmelze in die Form treiben.

Die Gießzeit, also die Zeit, die das Metall benötigt, um aus dem Schmelztiegel in die Hohlform zu schießen und diese vollständig auszufüllen, liegt etwa bei einer halben Sekunde.

Trotz einer nunmehr sechzigjährigen Entwicklung tritt bei den heutigen Gußmethoden immer noch ein gewisser Prozentsatz an Fehlern auf. Die eine Gruppe davon, und zwar die Mängel in der Paßgenauigkeit und Maßhaltigkeit der Gußobjekte, soll in dieser Arbeit unberücksichtigt bleiben.

Die andere Gruppe umfaßt jene Fehler, die in der Struktur der gegossenen Metallstücke liegen. Gegen sie ist sehr schwer anzugehen, da sich der Gußvorgang zum Teil noch einer direkten Beobachtung entzieht. Wir sind also darauf angewiesen, aus vielen indirekten Erfahrungen und Messungen Rückschlüsse zu ziehen über das Verhalten des Metalles beim Ausfüllen der Gußhohlformen.

Neben der Größe und Anzahl von Defekten ist auch ihre Verteilung von Bedeutung für die Brauchbarkeit des Stückes.

Einen gewissen Teil der bislang unvermeidbaren Fehler können wir nämlich in Kauf nehmen. Wenn sie aber an mechanisch stark beanspruchten Stellen und an Oberflächen und Kanten zu liegen kommen, dann wird der Guß endgültig zum Mißerfolg.

In Gestalt einer vergleichenden Untersuchung versucht diese Arbeit die Frage zu klären, ob die Art des Gußkanals, durch den die Schmelze in die Form fließt, in Zusammenhang steht mit der Anordnung von Strukturdefekten im Inneren des Gußstückes.

## B Theorien über die Entstehung der verschiedenen Strukturdefekte und ihre Vermeidung

Die Vermeidung von Gußfehlern stößt deshalb auf große Schwierigkeiten, weil deren Ursachen sehr verschiedenartig sind und meist mehrere bei der Entstehung von Porositäten zusammenwirken. Es können Umstände, die einerseits günstig sind, auf der anderen Seite neue Fehler provozieren: z. B. erleichtert sehr hohe Temperatur der Schmelze das Ausfließen, vergrößert aber die Neigung zu Strukturfehlern, die durch gelöste Gase und durch interkristalline Entmischung (Seigerung) hervorgerufen werden

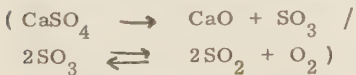
Dazu kommt, daß eine Kontrolle der Vorgänge im Augenblick des Gusses kaum durchzuführen ist. Es konnte daher noch nicht gelingen, die Ursachen aller vorkommenden Gußfehler exakt abzugrenzen und gezielte Gegenmaßnahmen zu finden. Noch immer hängt der Erfolg beim Gießen in hohem Maße von Erfahrung, Geschick und Sorgfalt des Gießenden ab. Er hat hierbei nur eine Reihe von Erfahrungstatsachen und theoretischen physikalischen Forderungen zur Verfügung, die er gegeneinander abwägen und in den verschiedenen Fällen richtig anwenden muß.

TORFS (47) schreibt, daß bei zahnärztlichen Gußarbeiten alle bekannten Maßnahmen nicht ausreichen, um mit Sicherheit Lunkerfreiheit zu erreichen.

KNIPP (16), der sich mit der industriellen Gießerei beschäftigt, nennt Zahlen: Beim Guß in die ruhende Form liegt das Ausbringen an gutem Guß bei Verwendung von Schwerkrafttrichtern (zum Nachsättigen) bei 40 bis 60 %, beim Schleudern des Gusses bei 65 bis 85 %.

Die Entstehung von Porositäten kann auf die Kontraktion des Metalls sowie auf in flüssigem Metall gelöste und sich beim Erstarren ausscheidende Gase zurückgeführt werden. Außerdem tragen beim Gußvorgang mitgerissene Luftblasen und feste Teilchen (Einbettmasse) zur Hohlraumbildung bei. MOELLER (22) hält allerdings die Möglichkeit einer Wirbelbildung beim Einströmen der Schmelze, die zum Einschluß von Luftblasen führen könnte, für äußerst gering und stellt fest, daß Hinweise darüber die Autoren nur aus theoretischer Sicht geben.

Gase können jedoch auch aus der Einbettmasse selbst stammen, z. B. durch Zerfall des Gipses in der Hitze.



Aber auch die in der porösen Einbettmasse enthaltene Luft kann vom schnell strömenden Metall nach Art einer Wasserstrahlpumpe angesaugt werden,

z. B. an düsenartig verengten Querschnitten (16, 35, 44).

Bläschen durch gelöste Gase treten bei RYGE, KOSAK, FAIRHURST (32) in der ganzen Studie relativ uncharakteristisch verteilt auf, obwohl es diesen Autoren gelungen ist, bei gewissen Arten von Porositäten bestimmte Bedingungen für ihr Vorkommen und ihre charakteristische Lokalisation festzulegen.

Ein besonderer Fall ist der sogenannte Blasenlunker, der durch Zusammenwirken von Schrumpfung und Gasbildung entsteht. Dies ist möglich an Stellen, wo Einbettmasse sehr stark aufgeheizt wird, also an Kanten und Spitzen. Hier kann das freiwerdende Gas kurzzeitig einen Gasdruckstoß von bis zu 5 atü erzeugen. Kommt zu einem solchen "Sandkanten-effekt" noch eine örtliche Lunkerneigung, so führt dies zur Entstehung von manchmal enorm großen Hohlräumen (16, 22).

Von großem Interesse sind die Mikroporositäten, also jene Defekte, die dem bloßen Auge kaum noch sichtbar sind (  $1/10$  bis  $1/15$  mm ), aber dennoch Festigkeit und chemische Beständigkeit des Gußstückes schwer beeinträchtigen. Sie entstehen vor allem bei Schwermetallen, wenn sich eine Legierung innerhalb eines Erstarrungsintervalls verfestigt. Es bildet sich hierbei anfänglich ein dendritisch geformtes Gerüst von Kristallen der höher schmelzenden Anteile aus. Zwischen diesen Kristalliten entstehen winzige Hohlräume, die durch noch flüssiges Metall ausgefüllt werden müssen (16).

Dieser Vorgang erklärt die Bedeutung, die einer sogenannten gerichteten Erstarrung beigemessen wird (21, 16). Damit ist gemeint, daß das Gußstück in seinen dem Einguß fernsten Teilen beginnen soll, sich zu verfestigen. Der Erstarrungsvorgang soll dann in Richtung auf den Eingußkanal voranschreiten, so daß bis zum Schluß frisches Metall vom Einguß her nachfließen kann. Auf keinen Fall darf eine noch flüssige Metallmenge durch vorzeitiges Verfestigen eines taillenförmigen Anteils von der Mög-

lichkeit des Nachsättigens mit Schmelze abgeschnitten werden. Solches "Speisen" des Stückes ist unbedingt erforderlich, um den nicht geringen Volumenschwund des erstarrenden Metalls auszugleichen.

An geätzten Metallschliffen kann man erkennen, daß Mikrolunker zwischen den Dendritenstrukturen liegen. Es liegt auf der Hand, daß auch die im flüssigen Metall gelösten Gase, die beim Erstarrungsvorgang sich ausscheiden, an der Bildung dieser interkristallinen Hohlräume beteiligt sind. Sie können einen kapillaren Schwindungshohlraum verstopfen und verhindern, daß dieser durch Kapillarwirkung mit flüssiger Schmelze aufgefüllt werden kann. Sie können aber auch als Gasbläschen auftreten, von denen die Lunkerung ihren Ausgang nimmt, indem das Metall sich von diesem vorhandenen Hohlraum weg retrahiert. Man kann also nicht in jedem Falle von vornherein Lunker und Gashohlräume durch ihre Form unterscheiden.

So wird z. B. die Erscheinungsform der "Randblasen" oder "Subsurface Porosity" von verschiedenen Autoren verschieden erklärt: SCHEFFLER (33) deutet sie als Gasblasen, die an dieser Stelle sich sammeln, wenn die Formwand durch eine feste Haut erstarrten Metalls überzogen ist und der Rest des Metalls sich vom Zentrum her kristallisiert, so daß die Gasblasen nach außen bis unter diese Haut gedrückt werden. SELBACH (37) und auch RYGE (32) deuten die Randblasen als Mikrolunkerung, welche auftritt, wenn die Muffel sehr heiß ist und schnell gefüllt wird.

Je größer das Erstarrungsintervall ist und je länger die Abkühlungszeit dauert, desto ausgedehnter ist die teigige Zone und desto günstiger sind die Verhältnisse für Mikroporositäten. Da sich diese beiden Gegebenheiten nicht ohne weiteres ändern lassen, muß auf andere Weise versucht werden, die Hohlraumbildung zu unterbinden. Dies geschieht vor allem durch Maßnahmen, die das Nachsättigen der entstehenden Erstarrungshohlräume erleichtern.

Naturgemäß fallen solche Aufgaben in erster Linie dem Eingußsystem zu. In der Frühzeit der zahnärztlichen Gußtechnik wurden verlorene Köpfe ohne Zusammenhang mit dem Gußkanal angewendet. Von dieser Anordnung wurde später wieder Abstand genommen, weil hierbei nicht das heißeste Metall zum Speisen zur Verfügung steht. Sogar an die Möglichkeit muß gedacht werden, daß der verlorene Kopf Schmelze aus dem Gußstück herauszieht, wenn er früher als dieser erstarrt.

Im Laufe der Zeit wurde von vielen Autoren noch eine große Zahl von anderen Möglichkeiten besprochen. Man versuchte, die zweckmäßigsten Längen und Stärken der Kanäle, sowie die beste Anordnung des verlorenen Kopfes zu finden und stellte seine Notwendigkeit teilweise überhaupt in Frage. Auch kompliziertere Formen wie gebogene Kanäle oder dicke Kanäle mit spitzem Ansatz am Gußstück wurden vorgeschlagen. Diese bis heute noch nicht abgeschlossene Diskussion läßt erkennen, daß den Eingußkanälen eine zentrale Bedeutung zukommt, sind sie doch gleichermaßen verantwortlich für die Füllung der Hohlform wie für den Ausgleich der Erstarrungsschwindung (7). Letztere darf nicht verwechselt werden mit der Schwindung beim Abkühlen des erstarrten Metallstückes, die durch Nachsättigen nicht beeinflußt werden kann, sondern durch das Expansionsverhalten der Einbettmasse ausgeglichen werden muß.

Nach KNIPP (16) sind bei Schwermetallen am günstigsten starke Eingüsse, die gleichzeitig dem Speisen des Stückes dienen. Sie sind, neben genügend großem verlorenen Kopf, das sicherste Mittel gegen Lunker. Bei kleinen Stücken ist der Einfluß des Eingußquerschnitts noch wichtiger als der des metallostatistischen Druckes. Günstig ist der Guß von oben, wenn in die trockene Form gegossen wird. Dies entspricht den zahntechnischen Bedingungen, im Gegensatz zur Industrie, wo oft in feuchte Sandformen gegossen wird, die nicht vorgewärmt sind.

Hohe und starke Eingüsse wirken ferner bei Messing auch der Seigerung, also der Entmischung der Legierungsanteile entgegen, was mit

der Mikrolunkerung eng zusammenhängt.

KYSELOWA, KYSELA, MARES (18) geben einen seitlich am verlorenen Kopf angesetzten Gußkanal an, der durch seine syphonähnliche Wirkung zu einer ruhigeren Füllung der Form beitragen soll.

Ihre guten Ergebnisse wurden durch VOSS (48) in jüngster Zeit bestätigt. Vereinzelt wird auch über Erfolge mit dem Einguß von unten berichtet (2).

#### C Das Verhalten der Strömung beim zahnärztlichen Guß

Einzelne Autoren sahen schon frühzeitig das Gußproblem auch als Strömungsproblem an, wenn auch nur aus theoretischer Sicht. So schreibt THIELEMANN (46), daß beim Guß eines Inlays durch zwei Kanäle die beiden Metallströme in der Mitte aufeinander treffen müßten, was eine Schwächung des Stückes an dieser Stelle zur Folge hätte.

Über das Strömungsverhalten der Schmelze gibt es aber bisher nur einige wenige Untersuchungen. Die Versuche von RUBIN (31), der Quecksilber in eine halbierte und auf eine Glasplatte geklebte Muffel fallen ließ, bestätigten fast zwanzig Jahre später den Gedanken von THIELEMANN und brachten dazu eine Reihe weiterer Aufschlüsse.

DRESNER (9) führte die Versuche auf der Basis von RUBINS Arbeit weiter und konnte durch die Herstellung von Zeitlupenaufnahmen die Ergebnisse sichern. Er konnte zeigen, daß das flüssige Metall als geschlossener Strahl in die Form schießt und beim Ablösen von Kanten sowie beim Aufprall auf Flächen starke Wirbel bildet. Trifft der Metallstrahl in spitzem Winkel auf eine Fläche, so wird er kompakt reflektiert. In einem schlangenförmigen Kanal springt er gleich einem elastischen Körper von einer Wand zur anderen, ohne sich dabei zu zerstäuben.

SOUDER (40) und MYERS (23, 24) maßen unter verschiedenen Bedingungen die Zeit, die benötigt wird, eine Gußform von Inlaygröße zu füllen.

MYERS (24) fand bei Verwendung eines Druckgußapparates eine direkte Abhängigkeit der Gießzeit vom Querschnitt des Kanals oder der Kanäle. Die Länge hatte bemerkenswerterweise keinen Einfluß.

STRAUSS (44) mißt erstmalig mit der Tiegelschleuder die Geschwindigkeit strömenden Metalls in einem geraden Gußkanal. Seine Versuche sind unter Berücksichtigung von kinematischer Zähigkeit und Dichte so angelegt, daß sie bei der Verwendung von Quecksilber als Versuchsmetall Rückschlüsse auf das Verhalten flüssigen Goldes zulassen. Er kommt zu dem Schluß, daß in einem Kanal von 3 mm Durchmesser ein turbulenter Strom die Regel sein dürfte.

In jüngster Zeit deutet auch VOSS (48) wieder auf das Strömungsproblem hin, dessen Klärung nach wie vor aussteht.

## D Eigene Untersuchungen

### 1) Gestaltung des Prüfkörpers

Um nun etwas über den Einfluß der Form der Gußkanäle auf die Verteilung von Porositäten aussagen zu können, wurden Gußstücke immer gleicher Gestalt durch verschieden geformte Kanäle gegossen. Die Gußbedingungen blieben unverändert. Das Gußstück selbst hatte die Gestalt eines m-o-d-Inlays in vereinfachter Form, so daß es leicht auf einer Schablone in größerer Serie modelliert werden konnte (8, 32). Durch die Inlayform mit einer breiten und einer schmal auslaufenden

"cervicalen Stufe" konnte mit dem Gußstück leicht die elementare Forderung des Gießens in Richtung von starken auf schwächere Querschnitte erfüllt werden ( 1, 8, 16 ). Ferner konnte durch das schmale, kanalferne Ende das vollständige Ausfließen kontrolliert werden. Scharfe Kanten im Inneren des Gußobjektes sind zwar aus gußtechnischer Sicht ungünstig, werden sich aber beim zahnärztlichen Guß kaum umgehen lassen und wurden daher auch bei diesem Gußmodell bewußt nicht vermieden.

Gegossen wurde durch Kanäle von 3 mm Durchmesser, so daß auf einen verlorenen Kopf verzichtet werden konnte ( 8, 10, 21, 30, 48 ).

## 2) Gestaltung der verschiedenen zu vergleichenden Gußkanäle.

- Form A : Abb. 1 : Gerader Kanal, der mit vollem Durchmesser am Objekt ansetzt; die nächstliegende, einfachste Form. Sie bringt vor allem zum Speisen des erstarrenden Stückes sehr günstige Voraussetzungen mit sich ( 16, 48 ).
- Form B : Abb. 2 : Gerader Kanal, der mit einer Spitze am Objekt ansetzt. Diese Form soll eine Konzentration von Metallmassen am Ansatzpunkt vermeiden, welche eine verzögerte Erstarrung an dieser Stelle zur Folge hätte ( 1, 16 ). Gleichzeitig aber wirkt diese Spitze wie eine Düse; sie verschärft und beschleunigt den Metallstrahl, der in die Form schießt. Zusätzlich hat der beschleunigte Metallstrahl auf die Einbettmasse an dieser Stelle den Effekt einer Wasserstrahlpumpe, d. h. der entstehende Unterdruck kann Gas aus den Poren ansaugen.
- Form C : Abb. 3 : Guß von oben, jedoch mit einem Knie des Kanals unmittelbar über dem Gußstück ähnlich den Vorschlägen von KYSELOVA, KYSELA, MARES (18), nur ohne verlorenen Kopf. Gleichzeitig werden hierbei annähernd die Verhältnisse des Paralleleingußverfahrens (Abb. 6) nachgeahmt, das für

größere Gußobjekte z. B. Brücken, empfohlen wird (27, 8). Vorteile verspricht man sich hier von einer Abbremsung des Metallstromes und daraus sich ergebender, ruhigerer Füllung der Form (16, 48). Vor allem aber soll der größere Wärmestau, der durch die Metallanhäufung oberhalb des Eingusses entsteht, die Nachsättigung begünstigen.

Form D : Abb. 4 : Zum Unterschied gegenüber der Form C hat diese Form Biegungen, die nicht so eng sind und nicht in unmittelbarer Nähe des Gußobjektes selbst liegen. Sie können zwar auch die Strömung, aber in geringerem Maße als bei C die Wärmeverhältnisse beeinflussen.

Auch um abgrenzen zu können, ob besondere Erscheinungen von Porenbildung beim "Maiglöckchen-Guß" (2) durch die starke Biegung des Kanals oder durch die Füllung von unten verursacht wurden, wurde diese weitere Kanalform geprüft. Sie durchläuft zwei  $90^{\circ}$ -Kurven von entsprechendem Radius. Der Einguß verläuft aber in der üblichen Form senkrecht nach unten.

Form E : Abb. 5 : Diese Kanalform gleicht der vorhergehenden, nur wurde der Einguß düsenförmig angelegt, so wie bei Form B.

Form F : Abb. 7 : Einguß von unten, sog. "Maiglöckchenguß" (2). Der Kanal beschreibt hier eine Biegung von  $180^{\circ}$  und soll durch das Aufsteigen der Schmelze von unten in die Gußform eine sehr ruhige Füllung und dadurch Porenfreiheit ermöglichen (7, 16). Eine Sonderstellung erhält dieser Gußkanal noch dadurch, daß der Kanal zwangsläufig am Gußobjekt vorbeiführen muß, was durch die Aufheizung dieser Stelle durch das flüssige Metall Einwirkungen auf die Erstarrungsrichtung erwarten läßt.

Im Prinzip kommt diese Art Kanal auch beim Guß durch das

Modell (Abb. 9) bei der Herstellung von Modellgußprothesen vor (8).

Form G : Abb. 8 : Diese Kanalform entspricht der vorhergehenden, nur mit dem Einguß in Düsenform.

Alle Kanäle wurden in der bisher für am günstigsten betrachteten Weise, also in einem Winkel von  $135^{\circ}$ , an der stärksten Stelle des Modells angewachst ( 31, 8 ).



Abb. 1  
Form A



Abb. 2  
Form B



Abb. 3  
Form C



Abb. 4  
Form D



Abb. 5  
Form E



Abb. 6  
Paralleleinguß-  
verfahren



Abb. 7  
Form F



Abb. 8  
Form G

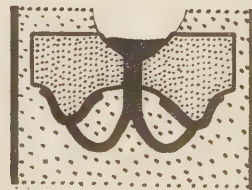


Abb. 9  
"Guß durch das  
Modell"

### 3) Beschreibung des Gußverfahrens.

Die Kanäle wurden aus Wachsdraht, Durchmesser 3 mm, angefertigt und dann auf ein Degussa-Einbettgerät mit spitzem Trichter so aufgewachst, daß sich eine glatte Trichterform mit stufenlosem Übergang in den Kanal ergab (13). Als Muffel diente der dazu gehörige Gußring Nr. 1, der vor dem Einbetten mit 1 mm starkem Asbestpapier ausgekleidet wurde. Um die Porosität des Asbestpapiers beim Einbetten zu bewahren, wurde es vorher mit Vaseline eingefettet.

Das Gußobjekt, oder bei einigen Formen der tiefste Punkt des Gußkanals, befand sich in 6 mm Abstand vom Boden der Gußmuffel entfernt (30). Dies wurde beim Einbetten mit einer Lehre kontrolliert, mit der gleichzeitig die zentrische Lage des Modells geprüft werden konnte. Zum Einbetten verwendeten wir die Einbettmasse "Durotherm hart" <sup>+)</sup> , die nach Vorschrift angerührt, mit der Wasserstrahlpumpe evakuiert und sodann in die Muffel eingerüttelt wurde.

Das Wachs wurde im elektrischen Ofen 30 min lang bei 250<sup>o</sup> C ausgebrannt und die Muffel dann im thermostatisch geregelten Vorwärmeofen 30 min bei 700<sup>o</sup> C vorgewärmt.

Gegossen wurde mit einer elektrisch beheizten Tiegelschleuder ( Degussa ), welche Unterschiede im Schmelz- und Schleudervorgang weitgehend ausschaltet.

Zum Schmelzen war der Zeiger des Spannungsmessers genau auf den linken Rand der roten Marke eingestellt, die die benötigte Spannung angibt. Sobald das Metall zu spiegeln begann, wurde das Zuleitungskabel abgeklemmt, die Muffel eingelegt und die auf drei Umdrehungen aufgezoogene Schleuder in Bewegung gesetzt.

Nach dem Stillstand der Schleuder wurden die Gußringe herausgenom-

---

+) Fa. Bayer, Leverkusen, Charge Nr. 86/90/0222/46-38, 8 A 10 .

men und bei Zimmertemperatur auf einer Etalplatte zum Abkühlen abgestellt (48, 21).

Da an den Gußstücken keine Messungen beabsichtigt waren, sondern nur die Fähigkeit verschiedener Gußkanäle, die Form porenfrei ausfließen zu lassen, verglichen werden sollte, nahmen wir als Gußmetall das Phantommetall der Firma DEGUSSA. Pro Guß wurden sechs neue Plättchen verwendet. Von jeder der sieben Formen wurden zehn Stück gegossen. Um die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Edelmetalle zu prüfen, wurden von einem Teil der Formen noch je drei Güsse aus Duallor G hergestellt.

#### 4) Herstellung der Metallschliffe.

Vor dem Anfertigen der Schliffe versuchten wir, mit Hilfe von Röntgenaufnahmen Aufschluß über die Struktur im Inneren der Gußstücke zu erhalten. Nachdem Röntgenbilder von kompletten Objekten so gut wie gar nichts erkennen ließen, wurden einige Stücke mit ihren Gußkanälen von beiden Seiten her so abgeschliffen, daß gleichmäßig starke, planparallele Objekte entstanden, die günstigere Bedingungen für das Durchstrahlen bieten. Sie wurden überdies, um ein Überstrahlen der Ränder durch Streuung zu vermeiden, in bleihaltige Knetmasse eingebettet, und als dieses sich als ungenügend herausstellte, mit Blei umgossen.

Alle diese Maßnahmen ergaben aber Bilder, in denen nur die ganz großen Hohlräume zu erkennen waren: eingeschwemmte Kohleteilchen oder Stellen, die unvollständig ausgeflossen waren (Abb. 10).

Über die Mikroporositäten konnten die Röntgenaufnahmen leider keinen Aufschluß geben.



Abb. 10 Röntgenbilder einiger Objekte

Damit nun der Zustand des Metalls im Innern der Gußstücke einschließlich der ausgegossenen Kanäle beurteilt werden konnte, wurden sie in zwei Ebenen angeschliffen, so daß ein Einblick in zwei verschiedene Schichten der Objekte möglich war. Die erste Schliffebene lag bei etwa einem Viertel des Kanaldurchmessers, die zweite wurde durch die Mitte gelegt.

Zur Erleichterung des Schleifens wurden die voluminösen Gußkegel vorher abgetrennt. Sie haben keine Bedeutung für diese Untersuchungen.



Abb. 11 Lage der Schliffebenen am Beispiel der Form B

Zunächst wurden die kleinen Prüfkörper in Klötze aus Kunststoff eingebettet. So konnten sie beim Schleifen mit der Hand gehalten werden. Geschliffen wurde auf waagrecht rotierenden Scheiben, die mit wasserfestem Siliziumkarbidpapier belegt waren, und ständig mit frischem Wasser berieselt wurden. Nacheinander wurde mit den Körnungen Nr. 180, 320, 400 und 600 immer feiner geschliffen, wobei darauf geachtet wurde, daß die jeweilige Schleifrichtung im rechten Winkel zur vorhergehenden lag.

Zum Schluß wurden die Schliffe poliert, und zwar auf einer mit Billardtuch belegten Scheibe, die mit in destilliertem Wasser aufgeschlämmter Tonerde berieselt wurde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Korngröße Nr. 3, Fa. Jean Wirtz, Düsseldorf). Eine Aufschlämmung von 200 g/l wurde zum Polieren auf das 32-fache Volumen mit aqua dest. verdünnt. Auf das Hochglanzpolieren folgte Entfetten mit Alkohol und Anätzen mit zehnprozentiger Salpetersäure etwa 20 sec lang. Bei den Kontrollgußstücken aus Duallor G nahmen wir Königswasser, ebenfalls 20 sec lang (4, 32). Danach Abwaschen und nochmaliges, ganz kurzes Polieren unter sehr leichtem Druck. Das Ätzen beseitigt die Metallfahnen, die nach dem Schleifen und Polieren die Porositäten verschließen. Das abschließende Polieren glättet wieder die durch das Ätzen aufgeschlossenen Kristallstrukturen und läßt die kleinsten Defekte deutlich hervortreten (32).

## 5) Auswertung.

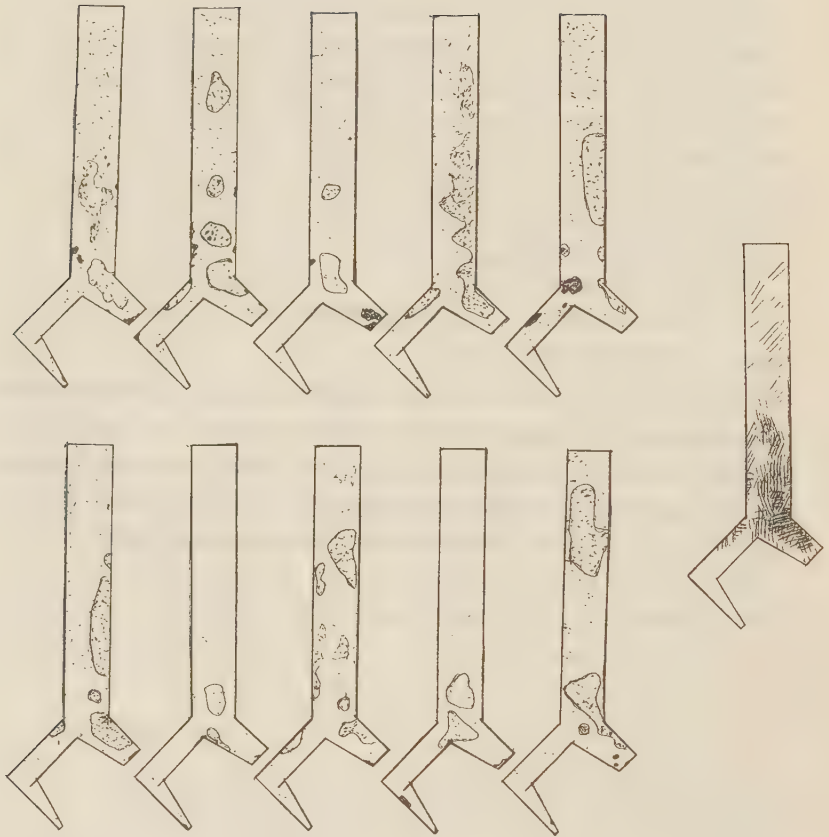
Die geschliffenen, polierten und geätzten Gußstücke wurden unter einem binokularen Oberflächenmikroskop (Zeiss Opton) auf Mikroporositäten abgesucht. Da ihre Lokalisation festgehalten werden sollte, erwiesen sich als zweckmäßigsten die sechsfache und zehnfache Vergrößerung.

Durch das plastische Bild des binokularen Mikroskops konnten bei

seitlicher Beleuchtung auch sehr kleine Porositäten in der Metalloberfläche erkannt werden. Die Anordnung der Strukturdefekte in allen 140 Schliffen wurde in vorher angefertigte Schablonen eingezeichnet. Zur Erleichterung des nächsten Arbeitsganges wurden die auffälligen Anhäufungen in jeder dieser Zeichnungen großzügig umrandet. Von allen zehn Objekten einer Serie wurden dann diese Stellen mit Hilfe einer von unten beleuchteten Glasplatte in eine einzige Darstellung durchgezeichnet. Dies geschah durch Schraffieren mit dem Bleistift, wobei die Stellen, an denen die Porositäten gehäuft auftraten, durch vielfaches Übereinanderzeichnen am stärksten geschwärzt wurden.

Die Entstehung einer solchen Darstellung sei am Beispiel der Form A veranschaulicht (Tafel 1.).

Ferner wurden von mehreren Objekten jeder Serie photographische Aufnahmen gemacht. Die meisten wurden bei sechsfacher Vergrößerung und mit 10 sec Belichtungszeit aufgenommen, einige interessantere Stellen auch bei 40-facher Vergrößerung und 12 sec Belichtungszeit (Blende immer offen). Kamera: Exakta Varex IIb, Film: Adox KB 14.



Tafel 1

Entstehung der Schraffurzeichnungen aus den zehn  
Schliffbildern einer Serie. Form A, 2. Schliffebene.

## E Ergebnisse

Bei schräg einfallendem Licht waren die Porositäten als hell-leuchtende Punkte oder Flächen in mattschwarz erscheinender Metalloberfläche auszumachen. Bei starken Vergrößerungen ( 40 x ) zeigten sie sich als stark zerklüftete, unregelmäßige Hohlräume, deren Innenflächen die Kristallstrukturen erkennen ließen (Abb. 12). Gasblasen in Form von regelmäßigen, kugelförmigen und glattwandigen Hohlräumen im Metall waren nirgends zu entdecken. Ins Auge fielen einige größere Defekte, von denen ein Teil in den Gußstücken durch Kohleteilchen ausgefüllt waren, also auf eingeschwemmtes Material der Gußtiegel zurückgeführt werden kann (Abb. 13). Auch gibt es glatt begrenzte Einbuchtungen in den Umrissen der Objekte, die auf Fehler beim Modellieren zurückzuführen sind, z. B. Falten im Wachs. Diese beiden Fehler treten bei allen Formen auf und haben nichts mit den Porositäten zu tun, die hier untersucht werden sollen.



Abb. 12 Makro- und Mikro-  
porositäten

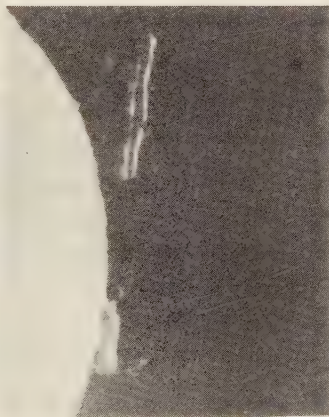


Abb. 13 Kohleteilchen

Der Beschreibung der einzelnen Befunde soll noch die Feststellung vorausgehen, daß zwischen den beiden Schliffebenen praktisch kein Unterschied in der Lokalisation der Defekte festzustellen ist.

#### Form A

Für uns von Interesse sind Wolken von Mikroporositäten, die hier nicht sehr charakteristisch verteilt sind. Sie durchsetzen das ganze Gußstück. Im breiten Schenkel des Stückes zeigen sich allerdings im Anschluß an den Kanaleingang an der Außenseite bei etwa der Hälfte der Objekte etwas stärkere Anhäufungen von Porositäten (Abb. 14 / Tafel 2).

#### Form B

Hier sind die Porositäten insgesamt geringer ausgeprägt als im Fall A. Lediglich an der dem Einguß gegenüberliegenden Stelle treten bei sieben der Stücke Ansammlungen von Hohlräumen auf. Diese sind im Medianschnitt nicht so ausgeprägt wie im seitlichen Schliff. Es liegt die Annahme nahe, daß sie durch Wirbelbildungen beim Aufprall des durch Düsenwirkung beschleunigten und kompakten Strahls auf die dem Einlauf gegenüber liegende Wand verursacht sind (Abb. 15 / Tafel 2).

Möglicherweise sind sie auch darauf zurückzuführen, daß an der Stelle, auf die der Metallstrahl prallt, die Einbettmasse sehr stark aufgeheizt wird und hier, an der Innenseite des U-förmigen Stückes das Metall dadurch am längsten flüssig bleibt. Es ist durchaus möglich, daß der taillenförmige Einguß früher erstarrt, so daß eine Nachsättigung nicht möglich ist (48).

#### Form C

Bei diesen Gußstücken zeigen sich nur wenige Porositäten. Sie sind einzeln und locker auf die gesamte Schnittfläche verstreut. Es gibt keine

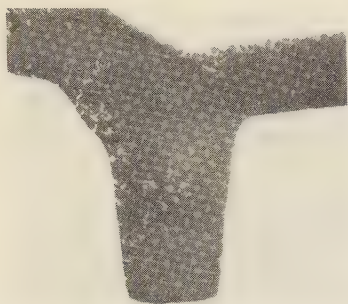


Abb. 14 Form A

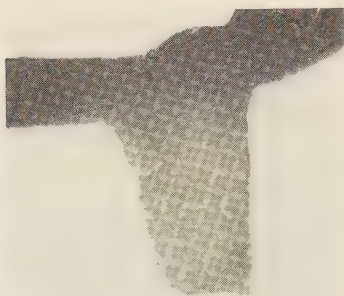


Abb. 15 Form B

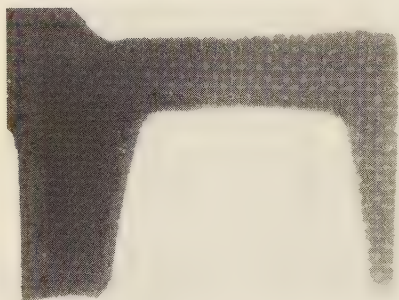


Abb. 16 Form C

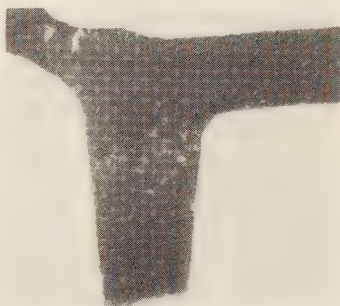


Abb. 17 Form E

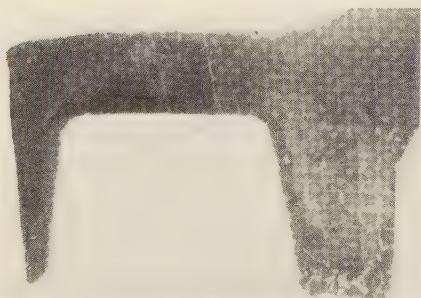


Abb. 18 Form F



Abb. 19 Form F

auffälligen Ansammlungen an irgendeiner Stelle des Gußobjektes. Mehrere eingeschwemmte Kohlesplitter trüben allerdings wieder das ansonsten günstige Bild (Abb. 16 / Tafel 2).

#### Form D

Hier deckt sich der Befund weitgehend mit dem bei der Form C. Die eigentlichen Mikroporositäten sind in verhältnismäßig geringer Zahl vorhanden und ziemlich gleichmäßig im Gußstück verteilt. Bei drei der Stücke zeigen sich, aber nur sehr gering ausgeprägt, wolkenartige Anhäufungen an derselben Stelle wie bei Form A, also im breiten Schenkel der Form und unterhalb des Eingusses. Auch hier gibt es eingeflossene Kohleteilchen (Tafel 2).

#### Form E

Die Schiffe zeigen eine Porenverteilung auf, die der Form B entspricht, nur nicht ganz so ausgeprägt. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, daß durch den S-förmigen Kanalverlauf die Geschwindigkeit des Metallstromes abgebremst wird. Daraus ergäbe sich, daß der Düseneffekt des Eingusses sich weniger stark auswirkt (Abb. 17 / Tafel 3).

#### Form F

Diese Objekte zeigen ein verhältnismäßig charakteristisches Bild. Über einen Großteil der Schifflfläche sind Mikroporositäten locker verstreut. Am Ende des breiteren Schenkels jedoch, der Stelle, die dem von oben kommenden Gußkanal am nächsten liegt, zeigt sich bei der Mehrzahl der Stücke eine zum Teil stark ausgeprägte Anhäufung von Poren. Diese nehmen meist eine Form ähnlich der "Subsurface Porosity" ein. Bei zweien der Stücke haben diese Hohlräume zu einem Einbruch der Außenhaut geführt. Auch an der Innenseite der Krümmung des Kanals treten Hohlräume auf, die meist dicht unter der Oberfläche liegen. Hier sprechen die

Anzeichen deutlich dafür, daß die Erstarrungsrichtung für diese Konfiguration verantwortlich ist: Der von Kanal und Gußstück umgebene Einbettmasseanteil bildet ein Hitzenest, besonders diejenige Stelle, an der sich der eine Schenkel des Objektes und der Kanalanteil mit dem heißesten Metall ganz nahe gegenüberliegen. Die Erstarrung wird bei dem in Muffelwandnähe liegenden und schmalen Schenkel beginnen, gleichzeitig aber auch vom untersten Punkt her, dem Scheitelpunkt der U-Kurve. Zuletzt erstarrt wie immer der obere Kanalanteil sowie das Ende des stärkeren Schenkels, das durch die Unmöglichkeit einer Nachsättigung nun porös werden muß (Abb. 18, 19 / Tafel 3).

#### Form G

Diese Form zeigt tatsächlich die kennzeichnenden Erscheinungen der beiden Formen B und F, aus denen sie kombiniert wurde. Erstens sind wie bei Form B die dem düsenförmigen Einguß gegenüberliegenden Wolken bei den meisten Stücken ebenso deutlich ausgeprägt. Zum anderen zeigen sich aber zusätzlich auch noch die Porenanhäufungen an der Stelle, die dem absteigenden Ast des Gußkanals benachbart liegt, entsprechend den Erscheinungen bei Form F (Tafel 3).

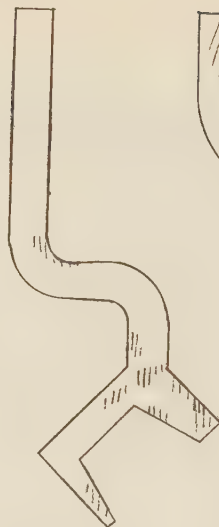
Für die Kontrollgüsse aus Duallor G wurden die Formen A, B, C und F genommen, weil bei diesen die wichtigsten Erscheinungen auftreten. Es zeigte von den drei Güssen der Form B zwar nur ein Stück die zu erwartende Porositätenverteilung wie beim Phantommetall. Diese war aber bei den anderen drei Formen wiederum nicht zu finden. Die Formen A, C und F zeigen dafür die beim Phantommetall beschriebenen Erscheinungen in noch eindeutigerer Art als dort. Bei allen drei Stücken der Form F zeigen sich starke, deutlich begrenzte Felder von Hohlräumen am Fuß und der Innenseite des breiten Schenkels. Die Form A



Form A



Form B



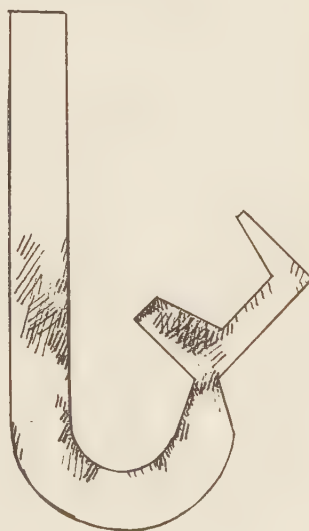
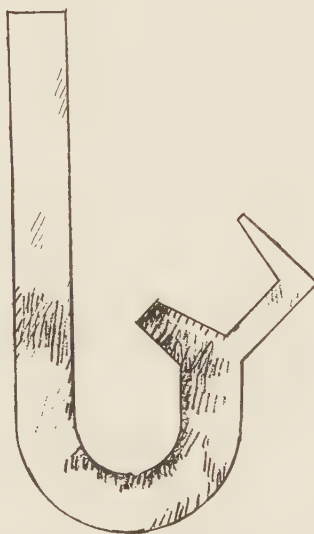
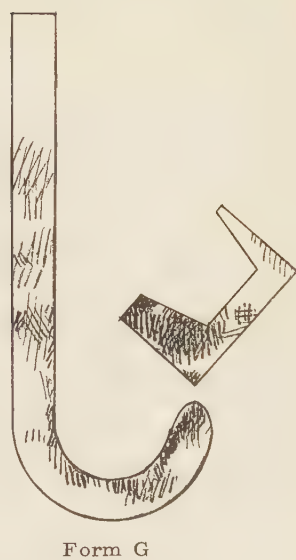
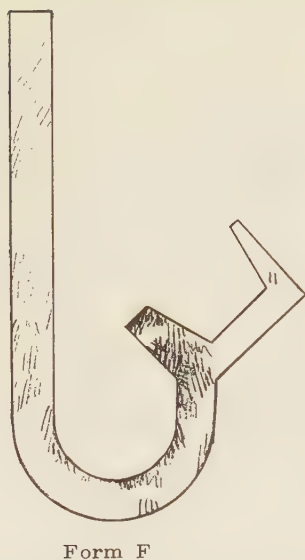
Form C



Form D

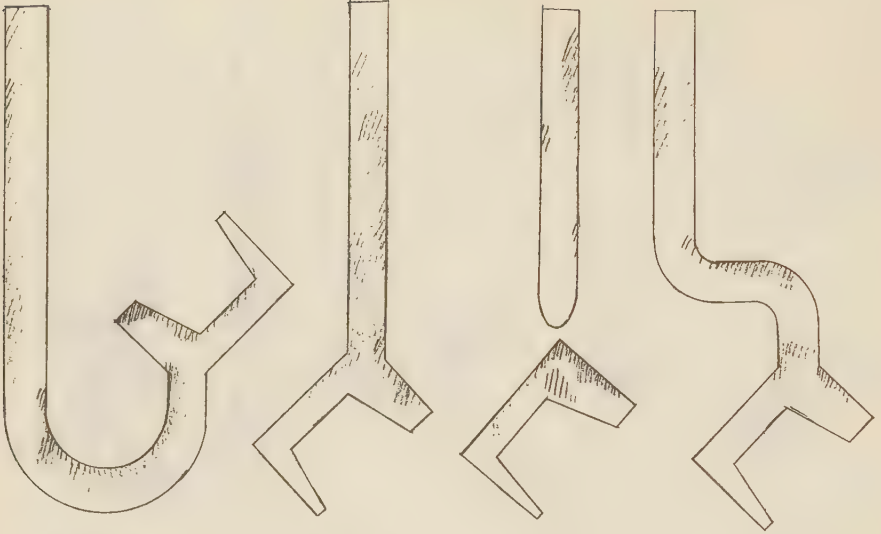


Tafel 2 :    Gußobjekte aus Phantommetall  
Oben 1. Schliffebene, unten 2. Schliffebene



Tafel 3 : Gußobjekte aus Phantommetall

Oben 1. Schliffebene, unten 2. Schliffebene

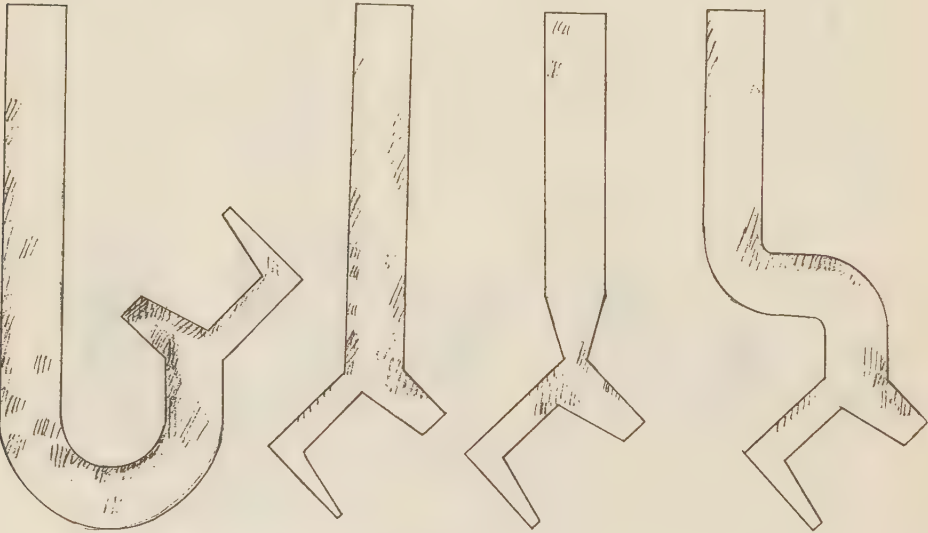


Form F

Form A

Form B

Form C



Tafel 4 : Kontrollgüsse aus Duallor G

Oben 1. Schliffebene, unten 2. Schliffebene

läßt relativ gleichmäßig verteilte Porositäten erkennen, mit etwas stärkerer Häufung an der Außenseite des breiteren Teiles, unterhalb des Kanalansatzes.

Ganz gleichmäßige, sehr geringe Porenbildung zeigt wiederum Form C (Tafel 4).

## D i s k u s s i o n

Diese vorliegenden Befunde zeigen, daß die Gestaltung der Gußkanäle nicht nur die Entstehung, sondern auch die Lokalisation von Porositäten in den Gußstücken beeinflussen kann. Die Art des verwendeten Metalls scheint dabei keine wesentliche Rolle zu spielen.

Bestimmte Gußkanalformen können sehr charakteristische Bilder von Mikroporositäten im Gußstück hervorrufen. Zwar zeigten nicht immer sämtliche Stücke einer Serie diese kennzeichnenden Erscheinungen, aber umgekehrt läßt sich sagen, wenn in einem Stück dieses oder jenes Bild an Porositäten zu sehen ist, dann muß es durch diesen oder jenen Gußkanal gegossen worden sein. Es konnte gezeigt werden, daß nicht nur Weite und Länge des Gußkanals, sowie die Temperaturverhältnisse beim Gießen und Abkühlen, einen Einfluß auf die Qualität der Gußstücke haben, wie seit langem bekannt ist, sondern auch schon der Verlauf der Kanäle allein, wie die Ergebnisse dieser Metallschliffe erkennen lassen.

Von den vielfältigen Bildern, die sich ergaben, interessieren uns für den Zweck der Qualitätsverbesserung unserer Güsse allerdings in

erster Linie diejenigen, die am unauffälligsten aussehen. Das sind solche Stücke, die nur wenig Porositäten aufweisen und diese nicht an einzelnen Stellen konzentriert zeigen. So sind die als "Maiglöckchen-Guß" hergestellten Inlays mit ihren an der apicalen Stufe gehäuften Hohlräumen auf jeden Fall weniger geeignet als die nach dem Vorschlag von KYSELOVA, KYSELA, MARES gegossenen, welche wenige, sehr kleine, über das ganze Stück verteilte Porositäten erkennen lassen.

Auch die bei den düsenartig geformten Kanälen entstehenden Wolken von Hohlräumen stellen eine Schwächung des Gußstückes dar.

Nach den vorliegenden Ergebnissen sind die ohne Verengung angesetzten, die Form von oben füllenden Kanäle, die günstigeren. Von diesen zeigen die besten Ergebnisse diejenigen, welche nicht das Metall direkt vom Trichter in die Form fallen, sondern es vorher eine S-Kurve durchlaufen lassen. Dabei spielt es keine Rolle, ob diese Kurven kurz vor dem Einguß oder weiter oben zu liegen kommen. Durch den mehrfach gebogenen Verlauf der Kanäle befindet sich oberhalb des Gußstückes in der Muffel mehr flüssiges Metall und damit eine größere Wärmemenge. Es ist nicht von der Hand zu weisen, daß die erwünschte gerichtete Erstarrung dadurch begünstigt werden kann.

Die hier verwendete Version des Gußkanales nach KYSELOVA, KYSELA, MARES mit fehlendem verlorenen Kopf, bildet kein Sammelbecken für das Metall vor dem Einlauf in die Gußform. Die Biegungen der Form D sind durch die Lage des Objektes in der Muffel sogar beide nach abwärts gerichtet.

Es scheint also nicht unbedingt eine syphonähnliche Form nötig zu sein, wie sie VOSS auf Grund seiner Versuchsergebnisse für vorteilhaft hält.

Möglicherweise spielt das Strömungsverhalten eine untergeordnete Rolle. Wie STRAUSS (44) zeigen konnte, muß bereits im geraden Guß-

kanal eine turbulente Strömung erwartet werden. Im gebogenen Kanal können wir dann aber Turbulenz ebenfalls voraussetzen.

Wir haben somit in den verschiedenen Fällen eine grundsätzlich gleiche Strömungsform, die zumindest für die Entstehung von Gas- und Teilcheneinschlüssen die gleichen Voraussetzungen bietet.

## G Zusammenfassung

Wegen seiner Einwirkungen auf das in die Gußform strömende Metall und auf die Erstarrungsvorgänge kommt dem Eingußsystem beim Schleuderguß eine zentrale Bedeutung zu. Ausgehend von dieser Tatsache wurden immer gleiche Objekte aus Phantommetall durch sieben unterschiedliche Gußkanalformen gegossen, die zum Teil auf Vorschläge verschiedener Autoren zurückgehen. Durch Metallschliffe konnten die Strukturdefekte in den Gußstücken unter dem Mikroskop sichtbar gemacht und zeichnerisch festgehalten werden.

Es stellte sich heraus, daß die verschiedenen Gußkanäle nicht nur die Häufigkeit von Porositäten beeinflussen, sondern auch ihre Anordnung im Innern des Gußstückes in teilweise sehr charakteristischer Weise bestimmen können.

Durch einen Nachversuch wurde die Gültigkeit der Ergebnisse für eine Edelmetall-Legierung weitgehend bestätigt.

G     SCHRIFTTUM

- (1) ALLENDORF, H. : Präzisionsgießverfahren mit Ausschmelzmodellen. Fachbuchverlag Leipzig, 1956.
- (2) BOITEL, R. : Persönliche Mitteilung, Zürich, 1966.
- (3) BONSACK, CH. : Der heutige Stand des Gußproblems.  
Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 75 (1953)
- (4) BUCHNER, G. : Hilfsbuch für Metalltechniker.  
Springer, Berlin 1923.
- (5) COY, H.D. : An Application of Recent Developments in Inlay Casting.  
J. Amer. dent. Ass. 20, 212 (1933).
- (6) CRAWFORD, W.H. : Selection and Use of Investments,  
Sprues, Casting Equipment, and Gold Alloys in  
Making Small Castings.  
J. Amer. dent. Ass. 27, 1459 (1940).
- (7) CZIEKEL, J., und DIEPSCHLAG, E. : Die Gießtechnik von  
Halbzeug und Formguß.  
VEB W. Knapp Verlag, Halle/Saale 1954.
- (8) DEGUSSA-BRIEFE Nrn. 23 (1955), 24 (1956), 30 (1960).  
Deutsche Gold- und Silber-Scheideanstalt, Frankfurt am Main.
- (9) DRESNER, J. : Studien über Strömungsvorgänge in der Muffel  
beim zahnärztlichen Gußverfahren.  
Med. Diss. Erlangen 1949.
- (10) ELANDER, K. : Das Problem der Herstellung exakter Goldgußfüllungen.  
Korrespondenzblatt für Zahnärzte 52, 273 (1928).

- (11) FABIAN, H. : Metall- oder Papierzylinder?  
Zahnärztl. Rdsch. 39, 1198 (1930).
- (12) FRITSCH, C., ELBRECHT, A., und NOWAK, L. :  
Das Gießen mit dem verlorenen Kopf.  
Zahnärztl. Rdsch. 39, 709 (1930).
- (13) GRANGER, E. R. : Platinum and Iridium Casting: A New Concept of the Dental Casting Process.  
J. Amer. dent. Ass. 27, 1718 (1940).
- (14) HOLLENBACK, G. M. : Simple Technic for Accurate Castings.  
J. Amer. dent. Ass. 36, 391 (1948).
- (15) KLUGE, G. : Untersuchungen über den Einfluß der Gußmethode und der Gebläseflamme auf die Porenbildung in einer Edelmetall-Legierung.  
Med. Diss. Basel 1943.
- (16) KNIPP, E. : Fehlererscheinungen an Gußstücken.  
2. Aufl. Gießerei-Verlag, Düsseldorf 1961.
- (17) KRAFT, E. : Über die Prüfung gegossener Implantatgerüste auf Lunkerfreiheit mit Hilfe von Röntgenstrahlen.  
Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 265 (1958).
- (18) KYSELOVA, J., KYSELA, B., und MARES, J. : Kontraktionsdefekte der Dentalgüsse und Möglichkeiten ihrer Beseitigung.  
Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 1310 (1958).
- (19) KYSELOVA, J., KYSELA, B., und MARES, J. : Der Einfluß der Gußapparate auf das Vorkommen der Defekte in Dentalgüssen.  
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 69, 403 (1959).
- (20) LOEBICH, O. : Der Lunker und seine Vermeidung.  
Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 1037 (1953).

- (21) MARX, H. : Über den Einfluß des Gußverfahrens auf die Poren- und Lunkerbildung.  
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1228 (1967).
- (22) MOELLER, K. -P. : Beitrag zur Klassifikation von Gußfehlern bei zahnärztlichen Metallarbeiten.  
Med. Diss., F.U. Berlin 1963.
- (23) MYERS, R. E. : Time Required to Cast Gold by Centrifugal Force.  
J. Amer. dent. Ass. 28, 2001 (1941).
- (24) MYERS, R. E. , und PFEIFFER, K. R. : Effect of Varying Conditions on the Time Required to Cast Gold Under Air Pressure.  
J. Amer. dent. Ass. 27, 530 (1940).
- (25) MYERS, R. E. : Study of the Cases of Discontinuity of Metal in Sprues During Pressure Casting.  
J. Amer. dent. Ass. 23, 554 (1936).
- (26) OEHRLEIN, A.: Leitfaden der zahnärztlichen Gußtechnik,  
Berlin 1928. Besprechung im Korrespondenzblatt für Zahnärzte 52, 406 (1928).
- (27) OETTINGER, R. : Beitrag zur Gußplatte.  
Zahnärztl. Rdsch. 39, 1696 (1930).
- (28) OETTINGER, R. : Beitrag zur Metalltechnik, II. Das Gießen mit dem verlorenen Kopf.  
Zahnärztl. Rdsch. 39, 231 (1930).
- (29) PEYTON, A.: Restorative Dental Materials.  
C. V. Mosby, St. Louis 1964.
- (30) PHILLIPS, R. W. : Studies on the Density of Castings as Related to their Position in the Ring.  
J. Amer. dent. Ass. 35, 329 (1947).

- (31) RUBIN, Z. : Versuch einer experimentellen Klärung der Verhältnisse in der Gußform beim Metallguß.  
Med. Diss., Erlangen 1948.
- (32) RYGE, G., KOZAK, S.F., und FAIRHURST, C.W. : Porosities in Dental Gold Castings.  
J. Amer. dent. Ass. 45, 745 (1957).
- (33) SCHEFFLER, K.: Der Einfluß verschiedener Gußmethoden auf die Beschaffenheit der Gußstücke in der zahnärztlichen Praxis.  
Zahnärztl. Rdsch. 41, S. 13, 60, 107 (1932).
- (34) SCHMITT, K.H. : Die Vermeidung von Fehlern und Mißerfolgen bei Metallgüssen.  
Dtsch. zahnärztl. Z. 4, S. 1432 und 1496 (1949).
- (35) SCHOENBECK, F. : Die Porenbildung beim Goldguß.  
Zeitschrift für zahnärztliche Materialkunde und Metallurgie, Berlin 1929, Nrn. 2 u. 3.
- (36) SCHUBERT, C. : Über Fragen des Goldgußverfahrens.  
Zahnärztl. Rdsch. 39, 445 (1930).
- (37) SELBACH, F.W. : Dentale Laboratoriumskunde, 4. Aufl.,  
C. Hauser, 1951.
- (38) SELBACH, F.W. : Hohlgußbrücken und Hinweise auf Gußlunker.  
Zahnärztl. Welt 2, 130 (1947).
- (39) SILBERHERZ, J. : Experimentelle Bestimmung der Viskosität und ihrer Temperaturabhängigkeit einiger zahnärztlicher Gußmetalle.  
Med. Diss. Erlangen 1949.
- (40) SOUDER, W. : Time Required to Cast Dental Restorations from Molten Alloy.  
J. Amer. dent. Ass. 20, 1010 (1933).

- (41) SPANNER, J. : Grundlagen der Gußtechnik.  
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 43, 1 (1933).
- (42) STOCKLAND, W.D., und STURDEVANT, C.M. : Porosity in the  
Full Cast Crown.  
J. Amer. dent. Ass. 47, H. 4, 69 (1959).
- (43) STOCKMEYER, F.W. : Schwinden und Lunker.  
Metall 7, 29 (1953).
- (44) STRAUSS, P. : Experimentelle Untersuchungen zu den Grundlagen  
des zahnärztlichen Präzisionsgusses.  
Med. Diss. Erlangen 1968.
- (45) TAEGE, F. : Moderne zahnärztliche Gußverfahren.  
Dtsch. Stomat. 1957, H. 3, S. 132.
- (46) THIELEMANN, K. : Zur Frage der Herstellung von umfassenden  
Godgüssen.  
Zahnärztl. Rdsch. 39, 1869 (1930).
- (47) TORFS, A. : Les cavites de retassure et retirure dans nos coulees  
dentaires. J. dent. belge 1958, H. 5, zit. bei MOELLER, K.-P.  
(22)
- (48) VOSS, R. : Zu speziellen Fragen der Gußtechnik.  
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1220 (1967).
- (49) WERNER, W. : Das Gußverfahren.  
Zahntechnik 1949, H. 2, S. 16.
- (50) WETTERSTRÖM, E.T. : Eine Neuerung in der Gestaltung der  
Gußkanäle beim Ceramco-Guß.  
Quintess. zahnärztl. Lit. 1967, H. 2.
- (51) ZAJONCZKOWSKI, J. : Versuch, die Gesetzmäßigkeiten für die  
Gasdurchlässigkeit von zahnärztlichen Einbettmassen zu finden.  
Med. Diss. Erlangen 1949.

## LEBENS LAUF

Am 9. November 1940 wurde ich als Sohn des kaufmännischen Angestellten Walter B a r t e l s und seiner Ehefrau Erna in Berlin geboren.

Nach vier Jahren Volksschule in Nürnberg besuchte ich die Oberrealschule Fürth bis zum Abitur im Juni 1959.

Durch meinen Stiefvater, den Zahnarzt Dr. Karl Rottenbach in Fürth, kam ich zum Studium der Zahnheilkunde.

Nach sechs vorklinischen Semestern in Erlangen studierte ich im ersten klinischen Semester an der Freien Universität Berlin. Die letzten vier klinischen Semester belegte ich wiederum in Erlangen, wo ich am 13. August 1965 das zahnärztliche Staatsexamen bestand.

Nach Abschluß meiner Untersuchungen leistete ich meinen Grundwehrdienst als Stabsarzt und war anschließend als Assistent in freier Praxis tätig.

ooOoo





## **Offsetdruck-Fotodruck**

---

J. Hogl, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990

---